sente cet avantage qu'elle peut être employée sur l'animal vivant sans lui faire subir aucune mutilation. A l'aide de cette méthode, on peut donc étudier les phases de la contraction musculaire chez l'homme. Analogue à celui des appareils précédents, le tambour explorateur est formé d'une ampoule de caoutchouc soutenue par une gouttière métallique (Voy. fig. 124). L'ampoule, à l'intérieur de laquelle existe un petit ressort à boudin destiné à faire saillir la membrane, s'applique par sa face élastique sur le muscle qu'on veut explorer (le biceps du bras par exemple, le muscle le plus accessible et le plus facile à mettre en expérience)[1], et la gouttière métallique, qui se moule sur le membre, est maintenue en place à l'aide d'une bande roulée et convenablement serrée. La masse d'air emprisonnée dans l'ampoule est mise en communication à l'aide du tube de caoutchouc (qu'on voit au bas de la figure), avec le tambour polygraphe inscripteur. Ajoutons qu'à l'aide du bouton métallique applati qui surmonte l'ampoule et du fil métallique qui s'y rend, on peut, au besoin, exciter électriquement le muscle et étudier comparativement la contraction artificiellement provoquée par les excitants avec la contraction déterminée par la volonté.

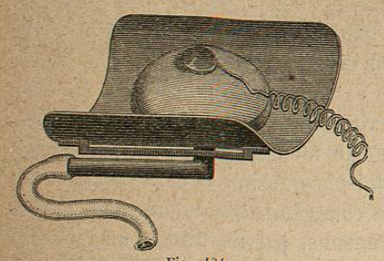

Fig. 124.
Myographe indiquant les phases du gonflement du muscle; applicable à l'homme. Marey.

Le tambour à levier explorateur, tel qu'il est représenté fig. 122 et 123, pourrait suffire à toutes les expériences de myographie, et remplacer tous les autres dispositifs. Toutefois, lorsqu'il s'agit d'animaux de petit volume, sur lesquels on n'est pas obligé d'agir à distance, et qu'on peut fixer sur le myographe lui-même, l'appareil peut être simplifié.

S'agit-il, par exemple, de la grenouille, et veut-on se procurer le tracé des phases du raccourcissement des muscles du mollet (gastrocnémiens); voici comment on dispose l'expérience (Voy. fig. 125).

Le tambour à levier explorateur est supprimé ainsi que le tambour polygraphe ; c'est le muscle lui-même qui agit directement sur le levier inscripteur. Ce levier inscripteur est articulé sur une plaque métallique, qui se continue avec une planche doublée de liège. Sur la planche de liège on fixe la grenouille avec des épingles, et notamment l'os auquel s'insère le muscle en expérience. L'autre extrémité du muscle, c'est-à-dire le tendon du muscle gastrocnémien, détaché de ses connexions naturelles, et solidement attaché soit à l'aide d'un fil métallique fin, soit à l'aide d'un cordonnet de soie, est lié à un petit bouton que porte le levier inscripteur. Celui-ci, mobile dans le plan horizontal, est attiré vers la grenouille quand le muscle se raccourcit, et ramené dans sa position primitive par un ressort très doux quand la contraction cesse. De même que dans tous les myographes, la pointe du levier trace sur un cylindre enfumé les ondulations correspondantes au mouvement de va-et-vient du levier. Comme à chaque tour du cylindre enfumé le levier inscripteur risquerait de passer dans les traits produits par les excitations antécédentes, la plan-

[1] On peut aussi l'appliquer sur la jambe ou sur la cuisse pour explorer les muscles de ces régions.

chette qui supporte l'animal fait partie d'un ensemble (lié au support à trois pieds de la figure) qui, porté sur un chariot, se meut dans le sens horizontal par un mouvement lent et continu, de manière qu'à chaque tour du cylindre, le trait du style inscrivant se trouve déplacé suivant une hélice à pas très fins. Comme c'est le plus souvent à l'aide de l'excitant électrique qu'on provoque la secousse musculaire dont on se propose d'enregistrer la courbe, il y a sur la planchette du myographe un support auquel sont fixés les réophores destinés à actionner le muscle (Voy. fig. 125).

Lorsqu'on opère sur les animaux, à l'aide de muscles laissés en place, il importe que les mouvements expérimentalement provoqués ne se compliquent

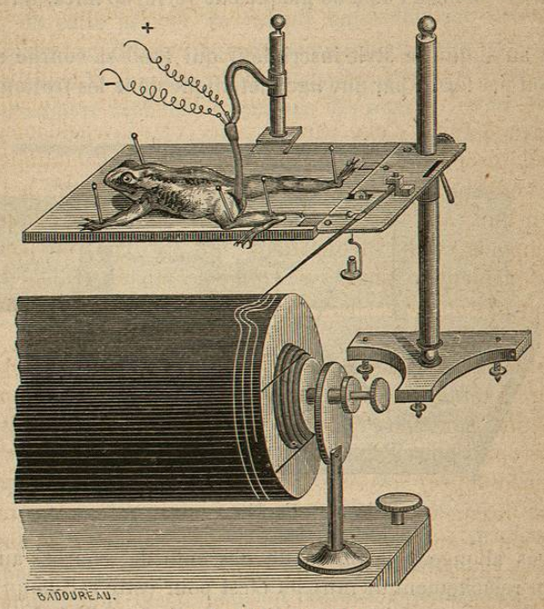

Fig. 125 (d'après M. Marey).

pas des mouvements d'ordre volontaire ou réflexes; aussi, avant de fixer la grenouille sur la planchette de la figure 125, on commence par détruire la moelle épinière à l'aide d'une petite tige métallique.

S'agit-il d'enregistrer les mouvements du cœur, on peut aussi au tambour explorateur à levier substituer un petit appareil d'un usage commode, la *pince myographique* de M. Marey (Voy. fig. 126, page suiv.). L'animal (la grenouille) est fixé sur une planchette, le ventre en haut; et son cœur, mis à nu, est saisi au niveau de la région ventriculaire à l'aide d'une pince à cuillers portée sur deux bras coudés. L'un de ces bras est fixe; l'autre, mobile, porte un levier horizontal qui lui est perpendiculairement implanté et qui par son autre extrémité, munie d'un style inscripteur, peut tracer sur un cylindre enfumé. Le bras mobile de la pince est sans cesse ramené à sa position initiale par un fil de caoutchouc agissant comme un ressort et fixé sur la planchette à l'aide d'une épingle (Voy. fig. 126). A chaque contraction (systole) le ventricule, qui devient plus globuleux, écarte le mors mobile de la pince et tend le fil élastique. A chaque repos (diastole) du

ventricule le fil élastique ramène la pince à sa position du départ. C'est donc la traction du fil élastique qui applique le mors mobile de la pince sur le ventricule ; elle doit être assez faible pour ne pas empêcher le sang d'affluer dans le ventricule au repos ; elle doit être suffisante pour ramener la cuiller au contact du cœur.

Dans toutes les expériences de myographie, surtout quand elles portent sur des muscles de petit volume (ce sont celles qui comportent le plus de précision), il convient de se mettre en garde contre la dessiccation des muscles mis à nu. On pourrait opérer dans une pièce dont l'air serait saturé ; on peut aussi couvrir l'animal par une chambre humide, c'est-à-dire à l'aide d'une petite caisse que l'on construit soi-même à l'aide de plaques de verre, de mica, ou de corne transparente.

Il importe aussi que le style inscripteur qui trace sa courbe sur le cylindre enfumé ne soit pas formé par une tige métallique dont les frottements toujours

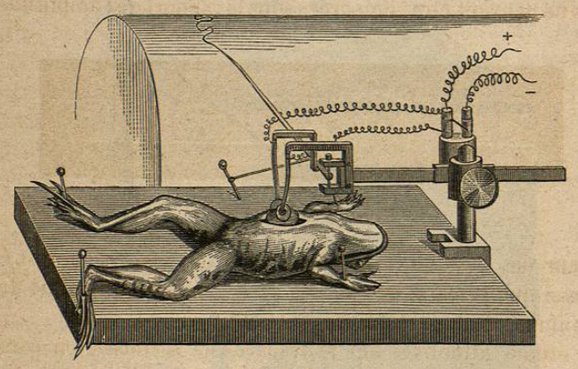

Fig. 126.

trop prononcés allongent la phase de descente des courbes au moment qui correspond au relâchement du muscle. C'est pour cette raison qu'on choisit des substances suffisamment résistantes et d'une grande flexibilité, de petites lamelles de baleine ou de plumes, par exemple, amincies à la lime.

La secousse musculaire. — Une grenouille étant placée sur la planchette du myographe (Voy. fig. 125), si on excite la contraction du gastrocnémien par une décharge électrique instantanée, la décharge d'un courant d'induction par exemple (en appliquant l'excitant électrique soit sur le nerf qui anime le muscle, soit sur le muscle lui-même), aussitôt se produit une *secousse* dans le muscle. C'est-à-dire qu'une excitation instantanée provoque un mouvement de *courte durée*, mouvement qui n'est pas la contraction musculaire ordinaire, telle que nous la connaissons, et telle que la volonté la commande, mais un mouvement *court*, *brusque*, qui mérite bien le nom de *secousse* qu'on lui a donné (*Zückung* des physiologistes allemands). La secousse, n'est que l'*élément* de la contraction proprement dite. Quand sur l'homme, ou sur l'animal vivant, le muscle se contracte, il exécute une *série de secousses* extrêmement rapides, fusionnées entre elles, et qui disparaissent dans la résultante générale, de même que les vibrations sonores disparaissent dans le son qu'elles engendrent.

La secousse isolée, c'est-à-dire la vibration élémentaire de la contraction, est

représentée sur le cylindre enfumé du myographe par la courbe représentée fig. 127 A. Le moment de l'application de l'excitant répond au point *a*. La distance qui sépare le point *a* du point *b* (sur la ligne des abscisses [1]), exprime le temps qui s'écoule entre le moment où l'excitant a commencé à agir et le moment où la contraction commence à se manifester (ce qu'on appelle la période d'*excitation latente* ou la période du *temps perdu*). La distance qui sépare le point *b* du point *c* représente la période d'ascension ou la période active de la secousse. En comptant cette période suivant la verticale, c'est-à-dire sur la ligne des ordonnées, on a l'amplitude ; en comptant cette période suivant l'horizontale, c'est-à-dire sur la ligne des abscisses, on a sa durée. La distance qui sépare le point *c* du point *d* représente la période de descente ou de retour au repos. La durée de cette période se compte naturellement sur la ligne des abscisses. En somme, la courbe de la secousse musculaire comprend une période ascensionnelle à laquelle succède une période de descente. L'*amplitude* de la courbe étant en rapport avec les dimensions des bras du levier enregistreur, deux courbes ne peuvent être comparées sous le rapport de l'amplitude qu'autant

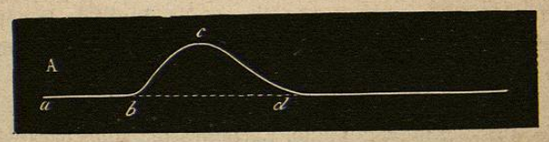

Fig. 127.

que la longueur des bras du levier enregistreur du myographe est connue. On comprend aussi que la *durée* des phases de la secousse se déduit du diamètre du cylindre enfumé et de la durée de sa révolution [2].

Lorsqu'on étudie attentivement le tracé de la secousse, on constante que le raccourcissement se développe avec une vitesse d'abord croissante, puis décroissante, atteint son maximum, et cesse ensuite d'une manière analogue.

Le muscle est actif pendant toute la période ascendante de la secousse, mais il n'est pas complètement inactif pendant la période de descente. Le levier en effet ne descend pas avec une liberté absolue ; il est encore retenu par la force contractile qui va sans cesse en s'éteignant et qui ralentit sa descente. L'amplitude de la secousse (dégagée de l'accroissement artificiel que peuvent lui donner les leviers enregistreurs) dépend du muscle qui la produit. On peut dire, d'une manière générale, que cette amplitude dépend de la longueur des fibres musculaires et de leur direction dans l'ensemble du muscle. Les recherches

[1] La ligne *horizontale* sur laquelle se comptent les divisions du temps (ou la durée d'un phénomène) s'appelle en géométrie la *ligne des abscisses*. — La ligne *verticale* sur laquelle se compte le degré d'intensité d'un phénomène s'appelle la *ligne des ordonnées*.

[2] La méthode de Young, qui consiste dans l'emploi du diapason pour l'estimation des phénomènes très courts, permet, dans la pratique, de mesurer avec une grande rigueur les fractions infiniment petites du temps, sans qu'il soit besoin de se préoccuper du diamètre du cylindre enregistreur ou même de la durée précise de sa révolution, pourvu qu'il se meuve avec une vitesse suffisante. Le diapason, on le sait, donne des vibrations isochrones dont la *tonalité* répond à un nombre connu de vibrations dans l'unité de temps (la *seconde*). On munit l'une des branches du diapason d'un style léger qui vibre avec elle et qui inscrit ses vibrations sur le cylindre enfumé du myographe sur lequel s'inscrit, en même temps, la secousse musculaire. Chaque vibration du diapason comptée sur la ligne des abscisses, répond à la fois à une fraction de temps connue, et à une fraction de la secousse.

de MM. Fick et Marey prouvent aussi que l'amplitude croît avec l'énergie de l'excitant, jusqu'à un maximum à partir duquel l'amplitude ne croît plus malgré l'énergie toujours croissante de l'action excitatrice.

Lorsqu'un muscle est sollicité à diverses reprises, à l'aide d'excitations brusques et suffisamment espacées, la *durée* de la secousse s'accroît sans cesse pendant toute la durée de l'expérience en même temps que son amplitude diminue. L'allongement de la courbe porte sur les deux périodes, mais surtout sur la période de descente. Ce phénomène caractéristique de la *fatigue* du muscle dépend de ce que la modification qu'entraîne la contraction dans le tissu du muscle n'a pas été réparée par la nutrition. Par contre, l'état de *repos* du muscle correspond au retour à l'état chimique normal du tissu musculaire.

La secousse musculaire peut être étudiée directement sur l'homme à l'aide des ampoules ou tambours à leviers explorateurs, dont nous avons parlé. Il suffit, pour obtenir le tracé de cette secousse, de faire passer une décharge instantanée (décharge d'induction) à travers le muscle sur lequel est appliqué le bouton du tambour explorateur (Voy. fig. 124, p. 36). L'examen de la courbe ainsi obtenue montre que la durée de l'excitation latente (de *a* en *b*, fig. 127) varie de 1/50 à 1/100e de seconde, tandis que la durée de la période d'ascension est d'environ 0sec,07 à 0sec,08. Quand à la durée de la période de descente, elle égale ou dépasse un peu la période ascensionnelle [1].

On conçoit comment ce mode de constatation pourrait être transporté dans le domaine de la myographie clinique. Certaines maladies paralysent la faculté qu'ont les muscles de déterminer les grands mouvements de la locomotion, sous l'influence de la volonté (ce sont surtout les maladies du système nerveux), d'autres attaquent le tissus musculaire lui-même et anéantissent la contractilité même. A l'aide de la myographie on peut distinguer les muscles restés sains des muscles qui ont perdu leur propriété fondamentale, suivre les phases de la disparition, ou le retour graduel de la contractilité.

Le froid produit sur la secousse musculaire des effets analogues à ceux que produisent les excitations répétées ; c'est-à-dire qu'il en augmente rapidement la durée. Deux gastrocnémiens d'une même grenouille mis simultanément en expérience donnent des secousses dont les tracés se superposent ; si on entoure l'un de ces muscles de glace, en peu de temps des différences considérables se produisent. La chaleur produit un effet inverse, mais à une condition, c'est qu'elle ne dépasse pas un certain degré, car on arrive rapidement par l'élévation de la température (chez les animaux à sang froid entre 30° et 35°, chez les animaux à sang chaud vers 45°), à la diminution et à la destruction de l'action musculaire (Voy. § 68).

Quand le muscle est soumis à une charge qui va croissant, l'amplitude de la secousse croît un instant, puis décroît rapidement d'une manière continue, tandis que sa durée augmente. Il se produit quelque chose d'analogue à ce qui se passe dans un muscle qu'on excite et auquel on oppose un obstacle insurmontable au raccourcissement.

[1] Chez les animaux à sang froid les phases de la secousse ont une plus longue durée ; au contraire, chez les oiseaux, la période d'ascension et de descente de la secousse ne mesure guère chacune que 0sec,03 de seconde.

Si l'excitation ne portait pas sur le muscle lui-même, mais sur le nerf qu'il reçoit, le stade de l'excitation latente serait augmenté de toute la durée du stade de l'excitation latente du nerf (Voy. *Innervation*).

L'onde musculaire. — Le raccourcissement passager qui produit la *secousse* est dû à la formation d'une *ondulation* ou d'une vibration longitudinale qui parcourt le muscle dans toute son étendue avec une grande rapidité. C'est M. Aeby (1862) qui, en inscrivant simultanément le gonflement d'un muscle sur divers points de sa longueur, a reconnu l'existence d'une onde assez analogue à celle qui se produirait dans le mouvement d'un liquide à l'intérieur d'un tube élastique [1].

Voici ses deux expériences fondamentales. Supposons un muscle serré sur deux points de sa longueur, voisins l'un de l'autre, entre les mors de deux pinces myographiques analogues à celle de la figure 126, et dont les leviers enregistreurs peuvent tracer sur un cylindre enfumé. Si on applique à l'une des extrémités du muscle une excitation instantanée, on obtient les deux tracés représentés fig. 128 A, qui indiquent que le gonflement des muscles ne s'est pas produit simultanément sur tous les points en même temps, mais qu'il a cheminé le long du corps charnu à partir du point excité. Le levier le plus rapproché du bout du muscle qui a reçu l'excitation s'est levé le premier et l'autre ensuite. La distance des deux points maximum d'élévation des courbes

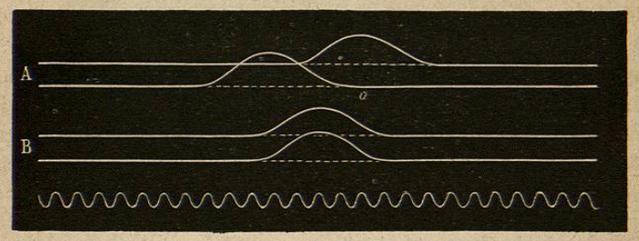

Fig. 128.

(calculée sur la ligne des abscisses) indique le temps qu'a mis l'ondulation à passer d'une pince à l'autre. A chaque mouvement de contraction il y a donc un gonflement local qui progresse le long du muscle à la manière d'une vague, et cette progression ondulatoire est d'autant plus lente et par conséquent l'écart entre le soulèvement des deux leviers d'autant plus grand que le muscle est plus fatigué et plus près de perdre ses propriétés [2].

Les deux pinces myographiques étant aux mêmes points que dans l'expérience précédente, si on excite le muscle, non par un bout, mais dans toute son étendue, en mettant chacune de ses extrémités en rapport avec les fils du courant induit, les deux leviers se soulèvent simultanément et on obtient les deux courbes du gonflement du muscle représentées fig. 128, B. Dans cette seconde expérience le muscle a été excité en même temps sur tous les points de son étendue, les fibres musculaires se sont raccourcies simultanément sur tous les points, l'onde n'est plus saisissable ; les mouvements ondula-

[1] Quand on observe les muscles des insectes au microscope, on remarque souvent des espèces de mouvements ondulatoires analogues aux mouvements des vagues.

[2] La vitesse de l'onde musculaire de la grenouille est, d'après M. Aeby, de 1m,8 à 1m,6 par seconde : elle décroît rapidement. M. de Bezold l'estime à 1m,2 ; MM. Valentin et Bernstein à 3 ou 4 mètres ; M. Hermann à 3 mètres.

La contraction qu'on obtient par l'excitation des *nerfs* des muscles paraît aussi se propager sous forme d'ondes, dans des directions opposées, à partir du point innervé.

toires s'emparant simultanément de tous les éléments du muscle, se composent et se confondent[1].

Toutes les conditions qui agissent en augmentant la durée de la secousse : le temps écoulé depuis le moment où le muscle a été détaché de ses connexions naturelles, les excitations répétées, l'abaissement de la température augmentent également la durée de transmission de l'onde musculaire. Dans les conditions physiologiques normales, alors que l'excitation motrice est transmise aux muscles par la volonté, c'est-à-dire par les nerfs moteurs, l'onde musculaire prend naissance au point où le tube nerveux entre en contact avec le faisceau musculaire primitif, au niveau de la plaque nerveuse terminale, c'est-à-dire en des points multiples et très divers de la masse d'un même muscle, et de ces points se propage vers les extrémités du faisceau musculaire; on conçoit que dans ces conditions l'onde musculaire soit insaisissable.

Contraction musculaire proprement dite (*tétanos physiologique*). — Lorsqu'au lieu d'exciter un muscle à l'aide d'une décharge électrique instantanée, on en sollicite la contraction à l'aide d'excitations de plus en plus rapprochées, il arrive un moment où la première secousse produite n'a plus le temps d'ac-

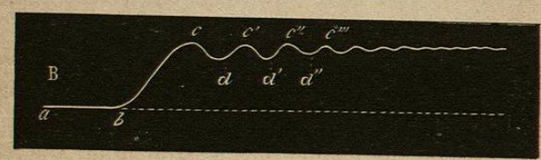

Fig. 129.

complir sa période de descente, la fibre musculaire se trouve saisie par la seconde excitation au moment où cette période allait se produire; la troisième excitation se comporte comme la seconde et ainsi de suite. Il en résulte que le levier ne *redescend plus* et continue son tracé pendant tout le temps de l'expérience à une hauteur correspondante à l'énergie de l'excitation multiple. Lorsque les excitations répétées ne sont pas suffisamment rapprochées, la courbe produite sur le cylindre enfumé se présente comme l'indique la figure 129. La distance *ab* répond à la période d'excitation latente ; la distance *bc* exprime la période d'ascension de la première secousse; la distance *cd* la période de descente; si cette secousse était provoquée par un excitant instantané *unique*, elle aurait continué sa période de descente suivant la ligne *cd*. Mais la seconde excitation et par conséquent la seconde secousse s'empare du muscle avant que la descente ait pu s'accomplir entièrement et le levier se relève vers *c'*. De même le levier se relève successivement vers *c''*, *c'''* avant que les descentes dans le sens *d'*, *d''* aient eu le temps de se produire et le levier tend de moins en moins à redescendre.

Si, dès le principe, les excitations sont très rapprochées, si elles sont par

[1] Sur l'homme l'onde musculaire peut être constatée et mesurée par la méthode des deux leviers, et par l'excitation *localisée à l'une des extrémités du muscle*. Sur le biceps brachial, M. Hermann estime que sa vitesse est de 10 à 15 mètres par seconde. Si le courant d'excitation (décharge induite) était appliqué non à l'une des extrémités du muscle, mais à chacune des extrémités, c'est-à-dire si la cause excitatrice le saisissait ainsi dans son entier, le phénomène du transport ne serait plus saisissable.

exemple de 20 à 30 par seconde, le mouvement acquiert de suite une assez grande amplitude, le levier s'enlève rapidement à une certaine hauteur (Voy. fig. 130), qu'il conserve pendant toute la durée du mouvement, n'accusant plus que de faibles oscillations. Le muscle est pendant tout ce temps dans un état de raccourcissement permanent analogue à ce que nous appelons le tétanos, raccourcissement qui ne fait que reproduire ce qui se passe pendant la contraction volontaire des muscles de la locomotion. On peut donc dire que

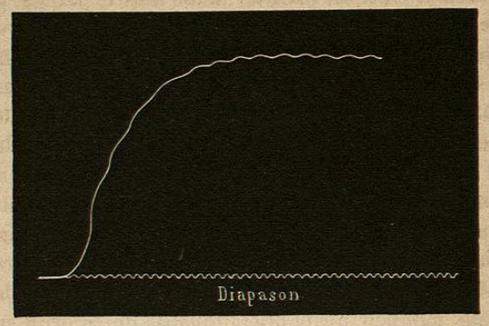

Fig. 130.

la contraction volontaire n'est autre chose qu'une sorte de *tétanos physiologique*[1], produit par une série d'excitations multiples parties de l'encéphale et par conséquent coordonnées.

Pour obtenir sur le cylindre enfumé du myographe un tracé analogue à celui de la figure 130, il faut que les excitations qui se succèdent soient au moins de 4 par seconde pour la tortue, de 15 pour la grenouille, de 30 environ pour les mammifères et pour l'homme, de 70 pour l'oiseau. Quand la fréquence des excitations, et par conséquent des secousses élémentaires, est plus grande encore, on ne peut plus les distinguer sur le tracé (comme on le voit encore sur la fig. 130); et celui-ci devient une ligne, non plus onduleuse, mais tout à fait droite.

Si l'excitant qui produit la secousse est un excitant mécanique (la percussion du nerf moteur que reçoit le muscle par exemple), les phénomènes observés sont les mêmes; c'est-à-dire qu'une percussion rapide et isolée produit une secousse ; une série de percussions produit une série de secousses qui se fusionnent en tétanos. La percussion peut s'exercer sur le muscle à l'aide d'un marteau très léger mis en mouvement par une roue dentée (*tétano-moteur* de M. Heidenhain). C'est à l'aide d'une série d'excitations mécaniques ou de chocs transmis aux muscles de l'avant-bras par les vibrations

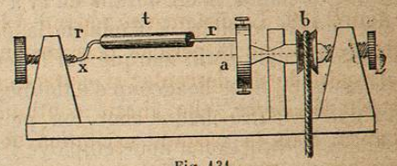

Fig. 131.
MACHINE DE ROOD.

ax, axe de rotation de l'appareil.
b, poulie mise en mouvement par une courroie de transmission.
rr, tige excentrique placée à environ 4 millimètres du centre de l'axe de rotation.
t, cylindre de laiton pouvant tourner facilement autour de la tige excentrique.

[1] Le tétanos *pathologique* est soustrait à la volonté, et la contraction permanente qui le caractérise s'empare la plupart du temps et *simultanément des muscles antagonistes*, quelquefois même de tous les muscles du corps en même temps.